

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОНЕНТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ШИХТЫ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

### **Аннотация**

*В работе представлены результаты расчетного анализа действительных геометрических параметров шара, цилиндра, куба, пластины и их относительной поверхности, равной отношению поверхности к объему. Показана связь объема шара с действительным объемом цилиндра, куба и пластины. Определено соотношение эквивалентной поверхности цилиндра, куба и пластины при равенстве их объема действительному объему шара.*

**Ключевые слова:** *дуговая сталеплавильная печь, шихта, сталь, насыпная плотность, цветной металл, окатыш, шар, цилиндр, куб, пластина, поверхность, диаметр.*

### **Abstract**

*The paper presents the results of a computational analysis of the actual geometric parameters of a ball, cylinder, cube, plate and their relative surface, equal to the ratio of the surface to the volume. Shows the relationship of the volume of the ball with the actual volume of the cylinder, cube and plate. The ratio of the equivalent surface of a cylinder, a cube and a plate is determined when their volume is equal to the actual volume of the ball.*

**Key words:** *arc steel-smelting furnace, charge, steel, bulk density, non-ferrous metal, pellet, ball, cylinder, cube, plate, surface, diameter.*

В связи с выводом устаревших производственных сталеплавильных мощностей (например, мартеновских печей) и с учетом увеличения автопарка и сокращения срока эксплуатации автомобилей предполагается рост металлофонда за счет автомобильного лома [1-6]. По прогнозам в России ежегодно будет образовываться 20-25 млн. т. амортизационного автомобильного лома. Для производства стали в ДСП используют практически все железосодержащие отходы, основными свойствами которых следует отметить их низкую насыпную плотность, повышенное содержание цветных металлов (медь, олово, свинец, сурьма, цинк и т.д), непредсказуемую форму и габариты, сыпучие добавки (железосодержащие, флюсующие, раскислители, углеродосодержащие). Для повышения насыпной плотности используют различные методы – шредирование, пакетирование, компоновка шихты с добавкой тяжеловесного лома, заполнение порозных объемов сыпучим материалом, например, окатышами. Снижение первоначального содержания цветных металлов в шихте рационально производить за счет добавки железорудных окатышей, произведенных из чистого сырья (окалина из прокатных цехов, концентраты из природных руд) по содержанию цветных металлов. Выбор соотношения различных видов шихтовых материалов определяется поставленной технологической задачей (маркой стали),

требованиями к качеству стали и ценой исходных материалов. Перечисленные технологические изменения состава и структуры шихты приводят к изменению теплотехнических режимов нагрева и плавления шихты в ванне. Теплоотдача от продуктов сгорания газа в воздухе и в кислороде к комбинированной шихте происходит за счет конвекции и излучения через активную поверхность и кондуктивной теплопроводности в точках соприкосновения составляющих шихты, способствуя выравниванию температуры в объеме садки.

Нагрев составляющих шихты связан с геометрическими параметрами, физическими и теплофизическими свойствами твердых материалов и газовой среды. Процесс теплообмена между рассматриваемыми средами в существенной мере зависит от геометрических параметров таких как активная поверхность, участвующая в теплообмене, объем, форма и размер тел, взаимное расположение их относительно друг друга. Активная поверхность и объем в теплообмене не бесконечного, а действительного размера тел играют значимую роль в теплопередаче в объеме садки. Действительная форма тела и условия теплообмена на его поверхности весьма разнообразны. При этом следует учитывать определяющий размер, приведенную длину пути теплового потока в объеме тела. Длина пути теплового потока – условный геометрический параметр тела.

Рассмотрим геометрические параметры действительных тел различной формы с одномерным определяющим размером диаметром – шар, гранью – куб; двумерным – цилиндр с диаметром в торце и длиной параллельной оси и трехмерным – пластина. Результаты анализа геометрических параметров цилиндра длиной равной диаметру цилиндра равному диаметру шара; пластины, ширина и длина, которой равна диаметру шара, а толщина его радиусу; куба, грань которого равна диаметру шара, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Геометрические параметры действительных тел симметричной формы

Форма тела	Размер тела $d$ , м	Площадь поверхности $F$ , м <sup>2</sup>	Объем $V$ , м <sup>3</sup>	Относительная поверхность $k_i = \frac{F}{V}, \frac{1}{\text{м}}$
Шар	$d_{\text{ш}}$	$\pi d_{\text{ш}}^2$	$\frac{\pi}{6} d_{\text{ш}}^3$	$\frac{6}{d_{\text{ш}}}$
Цилиндр	$d_{\text{ц}} = d_{\text{ш}}$ $l_{\text{ц}} = d_{\text{ш}}$ $d_{\text{ц}} = l_{\text{ц}} = d_{\text{ш}}$	$\frac{3\pi}{2} d_{\text{ц}}^2$	$\frac{\pi}{4} d_{\text{ш}}^3$	$\frac{6}{d_{\text{ц}}} = \frac{6}{d_{\text{ш}}}$
Куб	$l_{\text{к}} = d_{\text{ш}}$	$6l_{\text{к}}^2$	$l_{\text{к}}^3$	$\frac{6}{l_{\text{к}}} = \frac{6}{d_{\text{ш}}}$
Пластина	$l_{\text{т}}^{\text{п}} = \frac{d_{\text{ш}}}{2},$ $l_{\text{ш}}^{\text{п}} = d_{\text{ш}}$ $l_{\text{д}}^{\text{п}} = d_{\text{ш}}$	$4d_{\text{ш}}^2$	$\frac{d_{\text{ш}}^2}{2}$	$\frac{8}{d_{\text{ш}}}$

В таблице  $d_{ш}$  – диаметр шара;  $d_{ц}$  – диаметр цилиндра;  $l_{ц}$  – длина цилиндра;  $l_{к}$  – длина грани куба;  $l_{т}^{п}$  – толщина пластины;  $l_{ш}^{п}$  – ширина пластины;  $l_{д}^{п}$  – длина пластины.

Известно [7], что при равенстве плотности теплового потока, поступающего на поверхность действительных тел различной формы, общее количество теплоты связано с отношением поверхности к его объему, чем больше это отношение, тем больше теплоты воспринимает поверхность. Из выполненного анализа следует, что при постоянной величине определяющего размера шара, куба и цилиндра, равного  $d_{ш}$ , отношение их поверхности к объему равно  $\frac{6}{d_{ш}}$ .

Для пластины при ширине и длине, равной  $d_{ш}$ , и толщине  $\frac{d_{ш}}{2}$ , отношение равно  $\frac{8}{d_{ш}}$ , т.е. на 33,3 % больше. Можно предположить, что шредерный компонент шихты воспринимает теплоты больше, чем, например, окатыш.

Действительные размеры и форма шихтовых материалов отличаются от тел с симметричной формой. В качестве определяющего размера выберем диаметр шара и определим параметры тел при условии равенства объема тела объему шара. Результаты анализа приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2

Геометрические параметры действительных тел различной формы при условии равенства их объема объему шара

Форма тела	Эквивалентный определяющий размер	Действительная поверхность, $F_i$	Относительная поверхность, $k_i = \frac{F}{V}$	Изменение относительной поверхности, $\Delta k_i$ , %
Шар	$d_{ш}=1$	$3,14d_{ш}^2$	$\frac{6}{d_{ш}}$	100
Цилиндр	$d_{ц}^3 = 0,875d_{ш}$	$3,61d_{ш}^2$	$\frac{6,9}{d_{ш}}$	+15
Куб	$l_k^3 = 0,806d_{ш}$	$3,898d_{ш}^2$	$\frac{7,44}{d_{ш}}$	+24
Пластина	$l_{п}^3 = 1,015d_{ш}$	$4,121d_{ш}^2$	$\frac{7,88}{d_{ш}}$	+31,3

В таблице:  $d_{ц}^3 = 0,875d_{ш}$  – эквивалентный диаметр и длина цилиндра;  $l_k^3 = 0,806d_{ш}$  – эквивалентная длина грани куба;  $l_{п}^3$  – эквивалентная длина, ширина  $l_{п}^д = l_{п}^ш = 1,015d_{ш}$  и толщина  $l_{п}^т = 1,015 \frac{d_{ш}}{2}$  пластины.

Результаты расчетного анализа геометрических параметров тел различной формы при равенстве их эквивалентного объема объему шара позволили установить, что относительная поверхность шара меньше эквивалентной относительной поверхности цилиндра на 15 %, куба на 24 % и пластины на 31,3 %. Объем шара ( $0,523d_{ш}^3$ ) меньше действительного объема цилиндра ( $0,785d_{ш}^3$ ), куба ( $1,0d_{ш}^3$ ) и больше объема регламентированного объема пластины ( $0,5d_{ш}^3$ ).

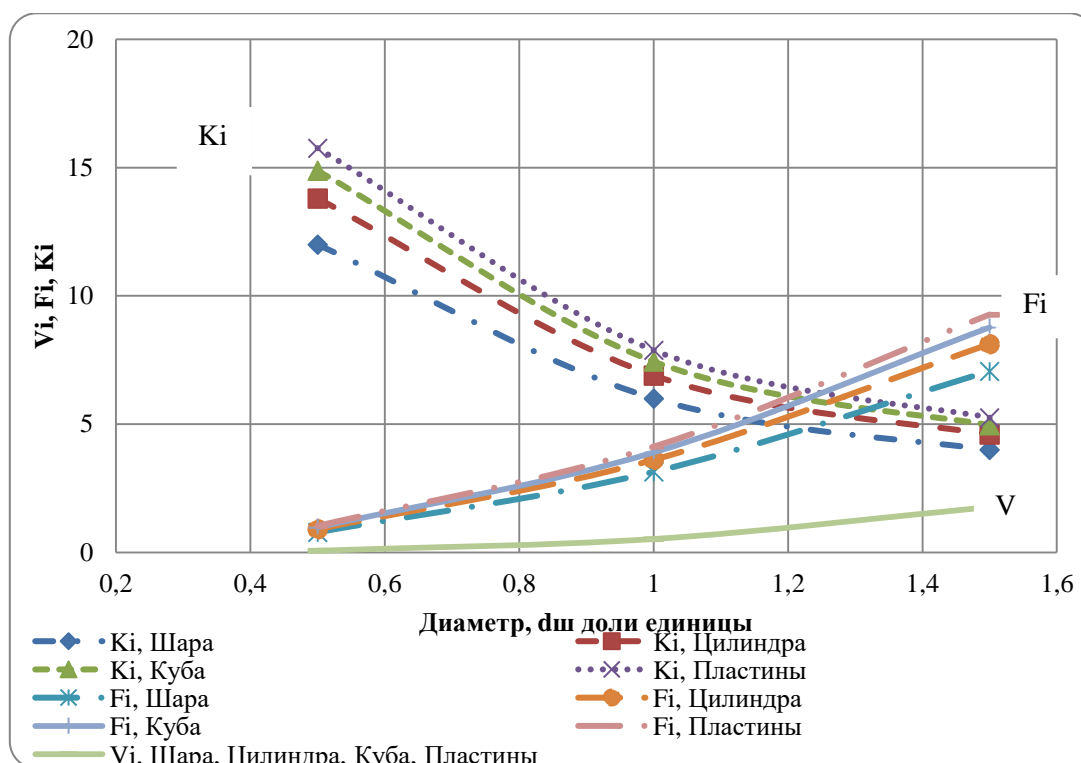


Рис. 1. Зависимость действительных параметров шара и эквивалентной поверхности и объема цилиндра, куба, пластины и их относительной поверхности (при равенстве эквивалентного объема тела действительному объему шара) от диаметра шара

### Список использованных источников

1. Белковский А.Г. Современное состояние и тенденции развития технологии производства стали в ДСП и их конструкции / А.Г. Белковский, Я.Л. Кац, М.В. Краснянский // Бюллетень «Черная металлургия». 2013. № 3. С. 72-78.
2. Чижигов А.Г., Семин А.Е., Чижигова И.И. Автомобильный лом в структуре металлофонда России и технические решения по его утилизации // Электromеталлургия. 2010. № 4. С. 31-36.
3. Семин А.Е., Чижигов А.Г. Вторичные металлы и электроплавка стали // Электromеталлургия. 2007. № 6. С. 2-6.
4. Черноусов П.И. Рециклинг. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов в черной металлургии: Монография. – М.: МИСиС. 2011. – 428 с.
5. Worldsteel Association Steel Statistical Yearbook 2011. – Brussels: Worldsteel Committee on Economic Studies, 2011. – 120 p.
6. Влияние фракционного состава металлолома на показатели работы дуговой сталеплавильной печи / В.В. Павлов, Ю.А. Ивин, С.В. Пехтерев, И.И. Мацко, О.С. Логунова // Электromеталлургия. 2011. №11. С. 2-6.
7. Теплопередача: учебник для энергетических вузов / М.В. Кирпичев, М.А. Михеев, Л.С. Эйгенсон. – М.–Л.: ГЭИ-государственное энергетическое издательство, 1940. – 292 с.